# TURBINE DISSERTAZIONE PER GIUSEPPE STICCO ALUNNO DELLA R...

Giuseppe Sticco


Digitized by Google

schedato

7

# TURBINE

DISSERTAZIONE

PER

GIUSEPPE STICCO

Alunno della R. Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri in Napoli

Per conseguire il diploma d'Ingegnere Laureato



NAPOLI
Stabilimento Tipografico l'Italia
Via Pisanelli n. 23 secondo piano
1872

Digitized by Google

124

Digitized by Google

A mio Padre

ed

Alla memoria di mia Madre

dedico

questo tenue pegno d' affetto

Digitized by Google

126

Digitized by Google

# INTRODUZIONE

Il nome di turbina si è generalmente dato ad una specie di ruote idrauliche ad asse verticale, adottate in quegli stabilimenti industriali, in cui si può disporre di una caduta di acqua sia naturale che artificiale. Una tale invenzione principiò a manifestarsi verso la metà del passato secolo ; allorchè si pensò ad utilizzare il principio di Fisica, anticamente conosciuto, sulle ruote a reazione, e ad applicarlo alla costruzione delle ruote idrauliche di nna certa potenza — Segner, professore a Goettingue, e più tardi Eulero ne fecero oggetto delle loro ricerche.

Eulero costruì nel 1754 una macchina fondata sull'accennato principio, ma differente delle ruote a reazioni per importanti disposizioni ; questa macchina somiglia moltissimo ad una forte ruota oggi in uso, chiamata turbina Fontaine, dal nome dell' abile costruttore, che ne ha stabilito un gran numero, estendendo e completando nell' applicazione di esse, le prime idee di Eulero. Però questo genere di ruote sembra, che non si sia molto adoperato fino al 1824, epoca in cui la quistione fu di nuovo studiata dall' ingegnere Burdin, il quale costruì una macchina analoga da lui detta *turbina a reazione*.

Digitized by Google

128



L' ingegnere Fourneyron, degno allievo di Burdin, ispirandosi alle idee di lui, costruì nel 1827 una turbina nello stabilimento di Pont-sur-l'Ognon per una caduta di metro 1,40. Qualche anno dopo stabilì quella di Dampierre; e quasi nella stessa epoca la bella e gran turbina della forza di 50 cavalli nella fabbrica di Fraissans per una caduta di metro 1,50. I miglioramenti da lui apportati successivamente in questo genere di ruote, avendo fatto di esse, per così dire, una nuova creazione, gli han meritato un brevetto d' invenzione per 15 anni, il quale gli fu conferito il 24 ottobre 1832, sotto il titolo di *Turbine hydraulique de Fourneyron, ou roue a pression universelle et continue.*

In seguito ad imitazione di Fourneyron, che stabilì turbine per ogni caduta, molti distinti ingegneri se ne sono occupati. Diversi meccanismi si sono inventati, e varie modifiche si son fatte alle turbine; di guisa che ne esiste oggi un gran numero differenti più o meno l' uno dall' altro.

Dopo di ciò, non potendo in una breve memoria passare in disamina tutte le turbine con le numerose trasformazioni subite, parlerò in termini generali delle sole tre, che possono considerarsi come i tipi principali; potendo per maggiori dettagli consultare gli scrittori di merito, che più diffusamente hanno trattato un tal soggetto.

## Turbina Fourneyron

Questa turbina rappresentata in sezione verticale dalla ( *fig. 1.* ) si compone di tre parti principali

1. La turbina propriamente detto
2. il serbatojo col suo fondo
3. La cateratta circolare

La turbina consta di due dischi anulari *SRMA*, *UTPQ*

Digitized by Google

legati fra loro per mezzo di alette cilindriche verticali, le cui direttrici sono rappresentate nella sezione orizzontale (*fig.* 2) dalle curve *lm*, *pq*. etc. il disco inferiore è unito all'albero, che trasmette il movimento mercè una superficie di rivoluzione *TaβP* in modo da formare con esso un sol sistema. L'albero posa su di un perno inferiore; una leva $\gamma\delta$ mossa da una barra $\delta\varepsilon$, permette di sollevare alquanto questo appoggio, allorchè la superficie deteriorata per l'attrito produce un leggiero abbassamento dell'albero. Nel vuoto dei due dischi passa il serbatoio.

Il serbatojo cilindrico di sezione circolare con diametro molto grande, di cui *CD* è l'apertura superiore, perfettamente fisso sopra appoggi di legno o di fabbrica, porta nella sua parte inferiore un altro cilindro di metallo *EGIF* mobile più *o* meno verticalmente. Il fondo del serbatojo, a livello del disco inferiore della turbina, fa sistema con un cilindro vuoto *abcd*, che è sostenuto nella sua parte superiore; questo cilindro, detto *tubo porta-fondo* è destinato a preservare dal contatto dell'acqua l'asse *ef* della turbina. Tanto l'albero, che il tubo porta-fondo sono concentrici al serbatojo. L'efflusso dei filetti liquidi è determinato dalle palette cilindriche a generatrici verticali, le cui curve direttrici *gh*, *ik* sono rappresentate nella (*fig.* 2.); di queste palette, alcune sono legate al fondo ed al tubo porta-fondo, le altre sono più corte, a fine di evitare che sieno molto ravvicinate presso l'asse.

Il cilindro mobile *EGIF*, posto nello interno del serbatoio, costituisce la cateratta; la parete interna di questo cilindro è rivestita inferiormente da una serie di tavoloni di legno con i bordi arrotonditi come *GG'*, *II'*, ciascuno dei quali occupa lo spazio tra due palette direttrici consecutive, in modo che la cateratta possa abbassarsi senza ostacolo fino al fondo *KK'L'L*.

Digitized by Google

100



Per farsi un' idea del modo come la forza dell'acqua mette la macchina in movimento, supponiamo l'albero fisso; allora i filetti liquidi dal canale di arrivo *A*, attraversando i canali distributori formati dalle palette direttrici, vanno a percuotere nella parte concava le alette della turbina, esercitando così una pressione più intensa nella parte concava dei canali *lm pq*. (*fig*. 2.) che nella parte convessa. Da ciò risulta una serie di azioni, i cui momenti relativamente all' asse tenderanno a far girare il sistema delle alette della turbina nel senso della freccia (*fig*. 2.); si produrrà dunque effettivamente la rotazione, se si dà all' albero la libertà di girare, o se si oppone una resistenza, il cui momento è inferiore al momento totale delle forze motrici.

L' acqua, che esce per gli orifizii della turbina, deve aumentare o diminuire al variare di quella del canale di alimentazione *A*. Si raggiunge questo scopo alzando od abbassando il cilindro mobile, ma la turbina di cui parliamo essendo immersa nel canale di fuga, le molecole liquide subiscono un passaggio brusco di sezione, epperò danno luogo ad una perdita di carica. Per ovviare a questo inconveniente Fourneyron ha proposto di suddividere l'altezza della turbina in più piani per mezzo di dischi anulari paralleli ad *SRMN*, *UTPQ*. Per semplificare il meccanismo poi consiglia di restringere i canali di uscita, formati dalle alette, facendo mobile il disco superiore. In questo sono praticate delle fenditure, per le quali passano le alette attaccate al disco inferiore, e mercè un bordo esso si appoggia alla parte inferiore della cateratta cilindrica, seguendo così il suo movimento di traslazione. Lo stesso disco mobile gira colla turbina senza produrre un notevole attrito.

Digitized by Google

## Turbina Fontaine.

La turbina Fontaine vien rappresentata in sezione verticale nella (*fig. 3*). Un sostegno metallico verticale *AB*, fissato saldamente nella fabbrica, che costituisce il fondo del canale di fuga, sostiene nella parte superiore *A* un albero vuoto di metallo *GDEF*, che lo circonda. Questo albero è pieno nel suo prolungamento superiore: una vite con una madrevite *C*, serve a regolarne la posizione verticale. Presso il livello del canale di fuga, od anche qualche poco al di sotto, si trova la turbina *HKILMNOP* legata invariabilmente alla parte inferiore dell' albero vuoto; essa è compresa tra due superficie di rivoluzioni intorno all' asse verticale del sistema, le cui linee meridiane sono *HK* ed *IL*; tra queste superficie son piazzate le alette, che servono a tenerlc salde, ed a ricevere l'impulso dell' acqua. L' acqua dal canale di arrivo *a* perviene sulle alette della turbina, attraversando una serie di canali distributori, rappresentati sulla stessa figura dai quadrilateri *QRHI*, *STMN*. Questi canali sono compresi nello spazio anulare immediatamente superiore alle alette della turbina ; essi sono limitati dalle superficie *QHTN*, *RISM*, e dalle palette direttrici, le quali danno una certa forma, ed inclinazione ai canali, per cui i filetti fluidi sono obbligati a muoversi.

Per dare una idea chiara della forma delle palette direttrici, e di quelle della turbina, immaginiamo fatta una sezione con una superficie cilindrica o conica concentrica all' asse del sistema, che passa pel punto di mezzo degli intervalli *QR*, *HI*, *KL*, e che si sviluppi su di un piano. La sezione sviluppata delle palette direttrici darà una serie di curve *ed*, *ef* ecc. (*fig. 4*[a]) comprese in una zona dritta o circolare, similmente si otterranno, per le alette della turbina, le curve *dg*, *fh*,. *dt* comprese in una



Digitized by Google

102



altra zona. Tracciate queste curve, se ricomponiamo il cilindro od il cono sviluppato, ed immaginiamo delle superficie storte, generate da una retta orizzontale, che si appoggia costantemente sull' asse, e successivamente su ciascuna delle curve in quistione, avremo definite le superficie delle palette direttrici e della turbina. Per regolare la distribuzione dell' acqua per gli orifizi di uscita, Fontaine impiega una serie di cateratte a tallone, che possono conficcarsi più o meno nell' intervallo compreso tra due palette direttrici, e siccome esse agiscono simultaneamente su tutto il sistema, così si ha il mezzo di ridurre il volume di acqua a quel grado che è necessario.

## Turbina Koecklin

La turbina Koecklin (*fig.* 5) di cui la disposizione dell' insieme è stata primieramente immaginata dal meccanico Jonval, non si distingue dalla turbina Fontaine in quanto alla disposizione delle palette direttrici e di quelle della turbina, nè in quanto alla maniera di agire dell' acqua. La differenza sta in questo, che la turbina trovasi al di sopra del livello del canale di fuga. Le palette direttrici, comprese nello spazio anulare rappresentato in sezione dai trapezi *QRHI*, *STMN*, sono legate ad una specie di anello metallico, che è a leggiero contatto con l' albero *AB*; e formano una serie di canali inclinati pei quali l' acqua dal canale di arrivo perviene sulle alette della turbina. Queste alette fanno sistema con un altro anello metallico attaccato all' albero; esse occupano lo spazio anulare *HIKL*, *MNOP*.

I canali inclinati compresi fra due palette direttrici consecutive sono limitati esteriormente da una superficie metallica di rivoluzione intorno all'àsse *AB*, avendo *QHKD* per profilo meridiano, fissa sui bordi di un pozzo di fabbrica. Questa superficie inferiormente porta un certo nu-

Digitized by Google

mero di braccia, che sostengono un pezzo centrale, sul quale si piazza il perno dell'albero girante.

L'acqua esce per gli orifizi *KL*, *OP* della turbina, attraversa il pozzo di fabbrica e perviene nel canale di fuga mercè un'apertura, che si può restringere o chiudere con una cateratta *V*.

Il principal vantaggio di questo apparecchio è, che trovandosi la turbina superiore al livello del canale di fuga, si può facilmente mettere a secco, con lasciare aperta la cateratta del canale di fuga, ed impedire che l'acqua arrivi fino agli orifizi dei canali distributori *QRHI*, *STMN*. Si può allora visitare la macchina e farvi le riparazioni necessarie. L'altezza poi compresa tra il piano orizzontale *KLOP*, ed il livello del canale di fuga, non deve ritenersi come una perdita di caduta, perchè corrisponde ad una diminuzione di pressione sull'acqua, che esce dalla turbina.

## Teoria delle tre turbine precedenti.

Una teoria completa sulle turbine deve principalmente risolvere i seguenti problemi: 1.° Da'e le dimensioni di una turbina, la sua posizione rispetto al canale di arrivo e di fuga, e la sua velocità angolare, determinare il volume di acqua che essa distribuisce, e l'effetto dinamico della caduta: 2.° Determinare la condizione perchè il lavoro utile sia un massimo, data la caduta e la portata.

Per semplificare la ricerca teoretica, ammetteremo che le dimensioni sieno scelte, e la turbina disposta in maniera da adempiere alle condizioni di un buon motore idraulico. Epperò, ad evitare ogni perdita di carica, è necessario, che i filetti liquidi attraversando i canali distributori, non soffrino contrazioni e cangiamenti bruschi di direzioni, come pure le superficie a contatto col liquido sieno terse ed arrotondite. L'acqua, quando entra nella

Digitized by Google

104



turbina, possiede una velocità relativa; la direzione di questa velocità dev' essere tangente al primo elemento delle alette, affinchè non si abbia agitazione tumultuosa. Si può adempiere a questa condizione scegliendo convenevolmente la velocità della ruota, nonchè le alette della turbina e le palette direttrici. Finalmente non potendosi ottenere, che l' acqua non esca dalla ruota con una certa velocità, è necessario fare che questa sia la minima possibile per evitare i rivolgimenti nel canale di fuga. Tutte queste circostanze, permettendoci di disprezzare le perdite di cariche sofferte dall' acqua fino a che esce dalla turbina, semplificheranno molto i nostri calcoli; ma però i risultati che otterremo, saranno applicabili al caso, in cui la macchina agisca con la condizione del massimo lavoro.

Premesso ciò, indichiamo con

$v$ la velocità assoluta dell' acqua quando abbandona i canali distributori;

$u$ la velocità della turbina e $w$ la velocità relativa nello stesso punto, rapportata alla turbina presa come sistema di paragone.

$v'$, $u'$, $w'$, le tre velocità analoghe nel punto in cui l'acqua abbandona le alette della turbina.

$p$, $p'$ le pressioni corrispondenti in questi due punti

$p_a$ la pressione atmosferica;

$r$, $r'$ le distanze dei medesimi punti dall' asse del sistema

$H$ l' altezza della caduta, misurata dal livello del canale di arrivo a quello del canale di fuga, supposti quasi stagnanti.

$h$ l' altezza positiva o negativa del punto d' entrata dell' acqua nello interno della turbina // del livello del canale di fuga.

$h'$ altezza da cui scende l' acqua durante il suo movimento nell' interno della turbina, quantità nulla quando si adotta la disposizione di Fourneyron.

// al disotto

Digitized by Google

$\pi$ il peso di un metro cubo di acqua.

$\beta$ l'angolo acuto che le palette direttrici fanno con la circonferenza $2\pi r$, ove sono i piani degli orifizi dei canali distributori;

$b$ l'altezza o larghezza degli orifizi in parola, misurata perpendicolarmente alla circonferenza $2\pi r$;

$\theta$ l'angolo formato dalle alette della turbina con la circonferenza $2\pi r$, alla quale si attribuisce la direzione opposta alla velocità $u$, la direzione delle alette essendo prese nel senso del movimento relativo dell' acqua;

$\gamma$ l' angolo acuto formato dalle alette della turbina con la circonferenza $2\pi r'$, ove son distribuiti gli orifizi di uscita dell'acqua;

$b'$ l'altezza o larghezza degli orifizi di uscita misurata perpendicolarmente alla circonferenza $2\pi r'$.

Si trattadi stabilire delle relazioni tra tutte queste quantità, nell'ipotesi che sia soddisfatta la condizione del massimo rendimento.

Consideriamo una molecola liquida che parte da un punto del canale di arrivo con velocità poco sensibile, ed arriva all' estremo delle palette direttrici con velocità $v$, la carica fra questi due punti è espressa da $H + h + \frac{p_a - p}{\pi}$; applicando il teorema di Bernulli, nell' ipotesi di una perdita di carica disprezzabile, si ha

$$v^2 = 2g\left(H + h + \frac{p_a - p}{\pi}\right) \qquad (1)$$

L' acqua si muove in seguito lungo le alette della turbina da principio con velocità relativa $w$, ed infine eguale a $w'$: se si chiami $\omega$ la velocità angolare della macchina, per applicare il teorema di Bernulli al movimento relativo, bisogna alla carica effettiva $h' + \frac{p - p'}{\pi}$

Digitized by Google

176



aggiungere un guadagno di carica fittizio $\frac{\omega^2 r'^2 - \omega^2 r^2}{2g}$ che si può anche scrivere $\frac{u'^2 - u^2}{2g}$; disprezzando le perdite di cariche, ammettendo che l'acqua entri con velocità relativa tangente alle alette si ha

$$w'^2 - w^2 = 2g\left(h' + \frac{p - p'}{\pi}\right) + u'^2 - u^2 \qquad (2)$$

Quando la turbina è immersa ed $h$ positiva, il punto di uscita dall'acqua si trova ad un altezza $h + h'$ sottoposta al livello del canale di fuga; ma pel massimo rendimento si richiede, che l'acqua esca con piccola velocità assoluta, si può dunque senza grande errore ammettere, che la pressione nel canale di fuga varia con la legge idrostatica, epperò si ha

$$\frac{p_a}{\pi} + h + h' = \frac{p'}{\pi} \qquad (3)$$

Questa relazione sussiste anche nella turbina Koecklin, benchè $h + h'$ diviene negativa, purchè però il pozzo sottoposto alla turbina, e l'orifizio del canale di fuga siano di grande dimensione; perchè allora l'acqua che scorre in esso, prendendo poca velocità potrà considerarsi come se fosse in equilibrio; la pressione $p'$ sarà inferiore a $p_a$ di una quantità $-(h + h')$ giusta l'equazione (3). Si potrà parimenti ritenere la stessa equazione, allorchè il piano inferiore della turbina, costruito secondo l'uno dei due primi sistemi, sia al livello del canale di fuga; in fatti si avrà $p_a = p'$, ed $h + h' = o$, le altezze $h, h'$ essendo eguali e di segno contrario, o nulle tutte e due, secondochè si tratta di una turbina Fontaine o di una turbina Fourneyron.

L'incompressibilità dell'acqua ci fornisce una quarta equazione, potendo esprimere che il volume di acqua

Digitized by Google

smaltita dai canali distributori è eguale a quello che esce dagli orifizî della turbina. Gli orifizi distrlbutori hanno per lunghezza totale $2\pi r$ (disprezzando la piccola spessezza delle palette direttrici) e per altezza $b$, sicchè la superficie è espressa da $2\pi br$; siccome son tagliati dai filetti liquidi forniti di velocità $v$ sotto un angolo $\beta$, si ha per espressione della portata

$$Q = 2\pi brv \, sen \, \beta$$

Parimenti la superficie degli orifizî di uscita all'estremo delle alette è espressa da $2\pi b'r'$, e siccome son tagliati dai filetti liquidi con velocità relativa $w'$ sotto l'angolo $\gamma$, si ha

$$Q = 2\pi b'r'w' \, sen \gamma$$

Volendo tener conto della spessezza delle alette, si faranno subire a queste due espressioni di $Q$ una riduzione di $\frac{1}{25}$ ad $\frac{1}{10}$; in tutti i casi passando all' eguaglianza e togliendo i fattori comuui, si ha

$$b \, r \, v \, sen\beta = b' \, r' \, w' \, sen\gamma \qquad (4)$$

Nella fig. 6.ª rappresenti $BC$ un aletta della turbina ed $AB$ una paletta direttrice; una molecola liquida avendo percorsa la trajettoria $AB$ arriva in $B$ con una velocità assoluta $v$, e prende una velocità $w$ relativamente a quella $u$ della turbina, si sa che $v$ è la diagonale costruita su di $u$ e $v$; e siccome l' angolo $\beta$ è quello formato da $u$ e $w$, il triangolo $BUV$ darà

$$UV^2 = BU^2 + BV^2 - 2BUBV \cos\beta$$

sostituendo i simboli si ha

$$W^2 = U^2 + V^2 - 2uv \cos\beta \qquad (5)$$

Similmente la molecola liquida dopo aver percorsa, relativamente alla turbina, la trajettoria $BC$, arriva in $C$ con la velocità relativa $w'$, che composta con $u'$, dà la velocità assoluta $v'$, l' angolo $\gamma$ essendo supplemento di quello fatto da $u'$ e $w'$ si ha

$$V'^2 = U'^2 + W'^2 - 2u' \, w' \cos\gamma \qquad (6)$$

Digitized by Google

128



D'altra parte, le velocità $u$ ed $u'$ appartenenti a due punti della turbina situati rispettivamente a distanza $r$ ed $r'$ dall'asse di rotazione si ha $\frac{u}{r} = \frac{u'}{r_1}$ ovvero

$$u' r = u r' \tag{7}$$

Non ci rimane che ad esprimere due condizioni per avere il massimo rendimento. Bisogna, che dal punto $B$ la velocità $W$ sia tangente a $BC$, altrimenti si ha una perdita di carica, dovuta al cambiamento brusco di velocità, di cui non abbiamo tenuto conto. Essendo dunque l'angolo di $w$ con $u$ supplementare di $\theta$, pel triangolo $BUV$ si ha

$$\frac{BU}{BV} = \frac{sen\, BVU}{sen\, BUV} = \frac{sen\,(BUV + VBU)}{sen\, BUV}$$

ovvero sostituendo i simboli

$$\frac{u}{v} = \frac{sen\,(\theta + \beta)}{sen\,\theta} \tag{8}$$

Fa duopo ancora che la velocità $v'$ dell'acqua, quando esce dalla turbina, sia molto piccola perchè $\frac{v'^2}{2g}$ fa parte della perdita di caduta; a questa condizione si soddisfa facendo l'angnlo $\gamma$ molto piccolo, e ponendo

$$u' = w' \tag{9}$$

perchè le due velocità $u'$ e $w'$ tendendo ad essere direttamente opposte, ed essendo eguali, la loro risultante sarà piccolissima.

Abbiamo ottenuto nove equazioni fra sedici quantità variabili, cioè, sei velocità $u, v, w, u', v', w'$; due pressioni $p, p'$; due rapporti $\frac{r}{r'}$, $\frac{b}{b'}$ tre altezze $H, h, h'$, tre angoli $\beta, \gamma, \theta$.

Le trovate equazioni ci serviranno per risolvere due

Digitized by Google

quistioni: 1° data una turbina con tutte le sue dimensioni cioè $\left(\beta, \gamma, \theta, \frac{r}{r'}, \frac{b}{b'}, H, h, h'\right)$ indicare le condizioni perchè le nove equazioni possano aver luogo; e nell' ipotesi che queste condizioni saranno adempite, indicare la velocità più convenevole della turbina, affinchè corrisponda alla portata, al rendimento ed al suo effetto dinamico: 2.° Essendo data la portata e l' altezza di una caduta stabilire sotto questa caduta una turbina nelle migliori condizioni.

La prima quistione comprende otto incognite $u$ $v$, $w$, $u'$, $v'$, $w'$, $p$, $p'$; l' eliminazione di queste incognite tra le nove equazioni darà un equazione di condizione da adempiersi nelle dimensioni dell' apparecchio, equazione a cui bisogna aggiungerne due altre per esprimere che le pressioni $p$ e $p'$ sono essenzialmente positive. L' oggetto del calcolo seguente è di trovare queste tre condizioni ed i valori delle incognite.

Aggiungendo membro a membro le equazioni (1), (2), (5), si avrà

$$w'^2 = 2g\left(H + h + h' + \frac{p_a - p'}{\pi}\right) + u'^2 - 2\,u\,v\cos\beta$$

in cui per effetto dell' equazione (3) e (9) si ha

$$uv\cos\beta = gH \qquad (10)$$

La combinazione delle equazioni (4) e (9) da

$$bvr\,sen\beta = b'u'r'\,sen\gamma \qquad (11)$$

moltiplicando per ordine le equazioni (7), (10) ed (11) si avrà

$$v^2\,br^2\,sen\beta\cos\beta = gHb'r'^2\,sen\gamma$$

da cui si ricava il valore di $v$, cioè

$$v^2 = gH\,\frac{b'r'^2}{br^2}\,\frac{sen\gamma}{sen\beta\,\cos\beta} \qquad (12)$$



Digitized by Google

149



allora dalla (10) si ricava $u^2 = \frac{g^2\, H^2}{v^2\, cos^2 \beta}$, nella quale sostituendo per $v$ il suo valore, si ha

$$u^2 = gH \frac{br^2}{b'r'^2} \frac{tag\beta}{sen\gamma} \qquad (13)$$

ed in virtù della (7) si avrà

$$u'^2 = gH \frac{b}{b'} \frac{tang\beta}{sen\gamma} \qquad (14)$$

Per avere $v'$, si farà nella (6) $w' = u'$, lo che darà $v'^2 = 2u'^2 ( 1 - \cos \gamma )$, sostituendo in questa equazione il valore di $u'^2$ dato dalla (14) si ha

$$v'^2 = 2gH \frac{b}{b'} \frac{\text{tag } \beta}{\text{sen } \gamma} (1 - \cos \gamma) \qquad (15).$$

Conoscendo $u'$ si ha parimenti $w'$ e se si mira ad avere $w$, ciò si otterrà sostituendo nella equazione (5), i valori di $v$ ed $u$. Sicchè tutte le velocità possono considerarsi come cognite, se si determina ancora la velocità angolare $\omega$, con la quale deve camminare la turbina, quando essa funziona con la condizione del massimo rendimento, si avrà in fatti $\omega = \frac{u}{r} = \frac{u'}{r'}$.

Nel valore $2\pi b' w' r'$ sen $\gamma$ della portata $Q$, sostituendo in luogo di $w'$ l' espressione (14) del suo eguale $u'$ si ha

$$Q = 2\pi r' \sqrt{bb'} \sqrt{gH \,\text{tag}\beta\, \text{sen}\gamma} \qquad (16)$$

formola in cui bisognerà moltiplicare il 2° membro per un fattore minore della unità, per tener conto dello spazio occupato dalle alette, e per compensare l' influenza delle perdite di cariche disprezzate nel calcolo.

Cerchiamo ora le tre equazioni di condizione a cui debbono soddisfare le dimensioni della turbina. Primieramente dividendo la equazione (13) per la (12) ed estra-

Digitized by Google

endo la radice quadrata avremo $\frac{u}{v}=\frac{br^2}{b'r'^2}\frac{\text{sen}\,\beta}{\text{sen}\,\gamma}$ ed a causa della (8).

$$\frac{\text{sen}\,(\theta+\beta)}{\text{sen}\,\theta}=\frac{br^2}{b'r'^2}\frac{\text{sen}\,\beta}{\text{sen}\,\gamma} \qquad (17)$$

è questa la condizione ottenuta dalla eliminazione delle otto incognite tra le nove equazioni. Resta ad esprimere ancora che $p>0$, $p'>0$. In quanto a questa ultima condizione si vede dalla (3), che è soddisfatta nella turbina Fourneyron e Fontaine, supponendo che esse sfiorino il livello dal canale di fuga, o vi sono immerse; perchè allora $h+h'$ è positivo e si ha $p'>p_a$. Nella turbina Koecklin il piano della turbina sorpassa il livello del canale di fuga di un altezza $-(h+h')$; $\frac{p'}{\pi}$ ha per valore $\frac{p_a}{\pi}=10^m,33$ meno quest' altezza; bisogna dunque che si abbia $-(h+h')<10^m 33$; ma a causa delle perdite di cariche disprezzate converrà meglio di fare

$$-(h+h')<6^m \qquad (18)$$

per assicurare certamente la continuità della colonna liquida nel pozzo sottoposto alla turbina. La pressione $p$ si ricaverà dalla (1), mettendo il valore (12) invece di $v$ e si troverà

$$\frac{p}{\pi}=H+h+\frac{p_a}{\pi}-\frac{1}{2}H\frac{b'r'^2}{br^2}\frac{\text{sen}\,\gamma}{\text{sen}\beta\cos\beta} \qquad (19)$$

Il 2.° membro di questa equazione dovendo essere maggiore di zero, possiamo determinare il suo limite superiore. In fatti se si esamini la disposizione dei diversi sistemi di turbine, si vede, che vi è sempre una comunicazione indiretta tra gli orifizii distributori situati all'estremo delle palette direttrici, sia col canale di fuga sia con l'atmosfera. Questa comunicazione esiste

Digitized by Google

14



necessariamente pel giuoco lasciato tra la turbina e gli orifizi distributori. Quando essa ha luogo col canale di fuga, $p$ non può molto allontanarsi dalla pressione idrostatica $p_a + \pi h$, che si avvera in una colonna piezometrica comunicante con questo canale e posta all'altezza del punto di entrata dell'acqua nella turbina, senza di che si avrà pel gioco anzidetto lo scaturire o l'aspirazione dell'acqua, lo che turberà il movimento. Quando è con l'atmosfera fa duopo per una ragione analoga che $p$ sia sensibilmente eguale a $p_a$. Nel primo caso è prudenza porre la condizione che i due termini dell'equazione (19) affetti da $H$ si distruggano presso a poco, o pure, essendo $k$ un numero poco differente da 1, mettere

$$k = \frac{b'r'^2}{br^2} \frac{\text{sen}\,\gamma}{2\,\text{sen}\,\beta\,\cos\beta}\,; \qquad (20)$$

allora $k$ è soggetto alla condizione che

$h + \frac{p_a}{\pi} + H(1-k)$ sia positivo. Del pari nel 2° caso si stabilirà la condizione

$$H\left(1 - \frac{b'r'^2}{br^2} \frac{\text{sen}\,\gamma}{2\,\text{sen}\,\beta\cos\beta}\right) + h = h'' \qquad (20\text{bis})$$

ndicando $h''$ un altezza molto piccola.

Potrà ancora proporsi, in una turbina conosciuta funzionando col massimo rendimento, di cercare questo rendimento e l'effetto dinamico. Siccome supponiamo disprezzabili tutte le perdite di cadute fuorchè quella dovuta alla velocità di uscita $v'$, così la caduta utilizzata sarà $H - \frac{v'^2}{2g}$, ed il rendimento $\mu$ sarà espresso da

$$\mu = \frac{H - \frac{v'^2}{2g}}{H} = 1 - \frac{v'^2}{2gH}$$

Digitized by Google

in cui mettendo per $v'^2$ il suo valore, si ha

$$\mu = 1 - \frac{b}{b'} \frac{tang\beta}{sen\gamma} (1 - cos\gamma). \qquad (21)$$

L' effetto dinamico $L_u$ si otterrà cercando il prodotto $\mu\pi QH$ del rendimento per la potenza assoluta della caduta, si ha

$$\left\{ \begin{array}{l} L_u = \pi H \sqrt{gH.} \; 2\pi r' \sqrt{bb'.} \sqrt{tg\beta sen\gamma} \\ \left[ 1 - \frac{b}{b'} \frac{tg\beta}{sen\gamma} (1 - cos\gamma) \right] \end{array} \right. \qquad (22)$$

E così abbiamo risoluta la prima delle proposte due quistioni. In quanto alla 2.ª cioè stabilire una turbina sotto una caduta data, $Q$ ed $H$ sono date, e le quantità $\beta$, $\gamma$, $\theta$, $r$, $r'$, $b$, $b'$, $h$, $h'$, sono incognite; fra queste non vi sono, che le equazioni (16), (17), (20) o (20 *bis*) alle quali bisogna aggiungere (se si tratta di una turbina Koecklin) l'ineguaglianza (18), quantunque essa lasci un certo vuoto, come pure le equazioni (20) e (20 bis), perchè le quantità $k$ ed $h''$ non hanno un valore preciso. Sembra dunque, che vi sia una grande indeterminazione, e che sono arbitrarie quasi tutte le dette dimensioni incognite; tuttavia le osservazioni seguenti imporranno delle restrizioni, alle quali sarà utile aver riguardo.

### Considerazioni sugli angoli e sulle dimensioni delle turbine.

Nella equazione (21) se si fa uno degli angoli zero, il rendimento teorico diverrà l' unità; ma s' annullerà la portata e l' effetto dinamico; sicchè il valore zero non è ammissibile nè per l' angolo $\gamma$ nè per $\beta$.

Facendo $\gamma$ molto piccolo, i canali, formati dalle alette consecutive, saranno molto ristretti presso gli orifizi di uscita; l' acqua scorrerà per essi con difficoltà; è da te-

Digitized by Google

mersi anche che, non seguendo l' andamento delle alette, produrrà dei rivolgimenti, e delle perdite di cariche. D'altra parte un valore troppo grande di $\gamma$ diminuirà troppo il rendimento; per ovviare a questi inconvenienti, l'esperienza ci dice che un valore di 20 a 30 gradi dà dei risultati soddisfacenti.

Nella equazione (19) $p$ risulterà negativa se si fa $\beta = 0$ e $\beta = 90°$; adunque non si può avvicinare nè a zero, nè a 90°; da qualche prattico si è consigliato di farlo variare fra i limiti 30° a 50°. Suppongasi di dover applicare l'equazione (20); moltiplicandola per ordine con l'equazione (17), si trova

$$\frac{K\, sen\,(\theta + \beta)}{sen\,\theta} = \frac{1}{2\cos\beta}$$

da cui si ricava

$$\frac{1}{K} - 1 = \frac{2\cos\beta\, sen\,(\theta + \beta) - sen\theta}{sen\theta},$$

ora sviluppando $sen\,(\theta + \beta)$ si ha

$$2\cos\beta\, sen\,(\theta+\beta) - sen\theta = sen\theta(2\cos^2\beta) - 1) + 2sen\beta\cos\beta\cos\theta$$
$$= sen\theta\cos 2\beta + \cos\theta\, sen 2\beta = sen\,(2\beta + \theta)$$

dunque si può scrivere

$$\frac{sen\,(2\beta + \theta)}{sen\theta} = \frac{1}{K} - 1 \qquad (23)$$

Si è visto, che $K$ dev' essere quasi eguale all' unità, da ciò risulta, che sen $(2\beta + \theta)$ dev' esser molto piccolo, perciò $2\beta + \theta$ deve poco allontanarsi da 180°. Se si prende $\beta$ prossimo a 45°, $\theta$ si avvicina all' angolo retto. Bisogna che $\theta$ non oltrepassi 90°; perchè (*fig.* 6ª) con $\theta$ ottuso le alette, come $E'C'$, prendendo una forte curvatura, l' esperienza dice, fanno provare all' acqua una perdita di carica maggiore; come anche, restando le stesse tutte le altre circostanze, le molecole tendono ad allontanarsi

Digitized by Google

dalla parte convessa, e danno luogo ai rivolgimenti. Inoltre prendendo $\theta$ molto acuto, il lato $VU$ del triangolo $BUV$, cioè la velocità relativa tenderà a divenire più o meno considerevole, ciò sarà un inconveniente, perchè si troverà aumentato l'attrito dell'acqua sulle alette. Sicchè converrà che $\theta$ sia un angolo acuto approssimato al retto; si potrà farlo variare da 80° a 90°.

Se è l'equazione (20 *bis*) che deve applicarsi, sussistono le medesime ragioni per prendere $\theta$ acuto e prossimo a 90°; ma non è più necessario, che $2\beta + \theta$ differisca poco da 180°.

Con la equazione (17) si calcolerà il rapporto $\frac{br^2}{b'r'^2}$, che servirà a conoscere l'uno dei rapporti $\frac{b}{b'}$ od $\frac{r}{r'}$ quanto l'altro sia conosciuto.

È vantaggioso pel rendimento, che $\frac{b}{b'}$ sia più piccoolo di 1, come dimostra la formola (21), non pertanto bisogna esagerare la differenza $b' - b$, ma si deve proporzionarla alla lunghezza delle alette per non avere una dilatazione troppo rapida nel canale compreso tra due alette consecutive, perchè ciò darà luogo ad una perdita di carica. Può porsi la condizione che $b' - b$ sia inferiore ad $\frac{1}{10}$ della lunghezza delle alette.

Il rapporto $\frac{r'}{r'}$ è eguale ad 1 nella turbina Fontaine e Koecklin, ed è maggiore di 1 nella turbina Fourneyron. In questo caso non bisogna aumentar molto la differenza $r' - r$, perchè allungandosi le alette si accresce l'attrito. Nella turbina Fourneyron $\frac{r'}{r}$ varia ordinariamente da 1.25 ad 1.50.

L'altezza $h'$ è sempre nulla nella turbina Fourneyron,

ma negli altri due sistemi si sceglie in modo, che le alette abbiano una lunghezza sufficiente, la quale non eccede di troppo la differenza $b' - b$. L'altezza $h$ poi se si tratta di una turbina Koecklin, si sceglie secondo le condizioni locali, tenendo sempre presente l'ineguaglianza (18); se si tratta di una turbina Fourneyron o Fontaine si dispone in modo che il suo piano inferiore sia a contatto del canale di fuga, quando le acque hanno la minima altezza.

Finalmente Fourneyron consiglia di dare alla sezione circolare del serbatojo, ove sono le palette direttrici di questa turbina, una superficie almeno quattro volte la sezione retta degli orifizî distributori, affinchè i filetti fluidi passano facilmente dalla direzione verticale alla orizzontale; sicchè si può scrivere $\pi r^2 > 4.2\pi rb\ sen\beta$ ovvero

$$r > 8b\ sen\beta; \qquad (24)$$

in cui il segno $>$ non esclude l'eguaglianza.

Passiamo a far vedere con un caso particolare come, con le fatte considerazioni, e con le formole trovate, possiamo determiaare le dimensioni di una turbina da stabilirsi.

## APPLICAZIONE

Si voglia stabilire una turbina, Fourneiron, in cui è data l'altezza della caduta, cioè $H = 6^m 00$, ed il volume di acqua da distribuirsi per ogni $1''$ cioè $Q = 1^m 50$.

La potenza assoluta della caduta è $1500 \times 6^m$ ovvero 9000 chilogrammetri per $1''$, che corrispondono a 120 cavalli.

L'angolo $\gamma$, poichè non si determina teoricamente, lo prenderemo, giusta quanto si è detto, eguale a 25°; faremo $K = 1$ nella formola (20), e siamo sicuri che $p$ è

Digitized by Google

positivo; finalmente faremo $\theta=90°$. L'equazione (23) con questi dati dà *sen* $(2\beta+\theta)=0$, da cui si ricava $2\beta+\theta=180°$ e $\beta=45°$. Avendo soddisfatta all'equazione (23), che risulta dalla combinazione delle formole (17) e (20) possiamo da una di queste due avere

$$\frac{br^2}{b'r'^2}=\text{sen } 25° = 0.4226 \qquad (\alpha)$$

La condizione di distribuire $1^m50$ di acqua per $1''$ si esprime con la formola (16) che qui diventa

$$1^m50=2\pi r'\sqrt{bb'}\sqrt{6g.0.4226}$$

o meglio fatto il calcolo

$$r'\sqrt{bb'}=0.04785 \qquad (\alpha')$$

Fa d'uopo scrivere ancora l'ineguaglianza (24), la quale da $r>8b sen 45°$, ovvero $r>5.657^*b$; prenderemo

$$r=6b \qquad (\alpha'')$$

Abbiamo ottenuto così tre equazioni tra le quantità $b,b',r,r'$ ; ma per la loro forma particolare si può dedurre facilmente il valore di $b$ e di $r$. Infatti estraendo la radice quadrata dell'equazione ($\alpha$) e moltiplicando membro a membro con ($\alpha'$) e moltiplicandola per ($\alpha''$) si fa sparire $r'\sqrt{b'}$ , e si trova $br=0,031107$ , relazione che combinata con ($\alpha''$), dà $r=0^m432$, e $b=0^m072$, Fatto ciò il sistema delle tre equazioni si ridurrà ad una sola con due incognite $r'$ e $b'$; per far cessare l'indeterminazione si prenderà $b'$ arbitrariamente e si rieaverà $r'$ (salvo a verificare le condizioni espresse nella teoria). Se si prende $b'=0^m09$, l'equazione ($\alpha'$) diverrà

$$r'\sqrt{0.09\times0.072}=0,04785, \text{ da cui risulta}$$

$r'=0^m598$. Possono ritenersi questi valori di $b'$ e di $r'$ perchè $\frac{r'}{r}=1,38$, e $b'-b=0^m018$ non essendo che



Digitized by Google

148



$\frac{1}{9}$ di $r'-r$, la dilatazione del liquido non

sarà troppo rapida

In quanto all'altezza $h$; se il canale di fuga ha il livello costante, si farà eguale a zero, altrimenti bisognerà tener presente le osservazioni di sopra fatte.

Il rendimento teorico si otterrà dalla formola (21), e si troverà

$$\mu = 1 - \frac{0{,}072}{0{,}09} tag 45^{\circ} \frac{1-\cos 25^{\circ}}{sen 25^{\circ}} = 0.823$$

In pratica non si conta, che su di un rendimento netto di 0,70 a 0,75, non solo per tutte le perdite di cariche disprezzate, ma anche perchè è difficile far muovere la macchina rigorosamente con la velocità conveniente al massimo rendimento.

In fine si conoscerà la velocità con la quale deve girare la turbina, applicando la formola (14), da cui si ricava $u'=10^{m}555$; la velocità angolare è data da

$$\omega = \frac{u'}{r'} = 17.65$$

ed il numero di giri per minuto

$$N = \frac{30\omega}{\pi} = 168{,}57-$$

## CONCLUSIONE

Termineremo questo soggetto, seguendo quanto su di esso ne dice il Morin:

« 1° Che queste ruote convengono si alle grandi che « alle piccole cadnte;

Digitized by Google

« 2° Che esse possono trasmettere in certi casi un « effetto utile netto uguale a 0,70 o 0,75 del lavoro as« soluto del motore;

« 3° Che esse possono funzionare sotto l'acqua alla « profondttà di $1^m$ ad $1^m50$, senza che il rapporto del« l'effetto utile al lavoro assoluto del motore diminui« sca notabilmente;

« 4° Che per effetto della precedente proprietà, esse « utilizzano in tutti i tempi tutte le cadute disponibili. « poichè si collocano al di sotto del livello delle ptù « basse aque;

« 5° Che esse possono ricevere delle quantità di ac« qua molto variabili;

« Se si aggiunge a queste preziose proprietà, sotto « il rapporto maccanico, il vantaggio che esse offrono « di occupare poco spazio, di girare generalmente con « velocità molto superiore a quella delle altre ruote, si « riconoscerà senza dubbio, che queste ruote debbono « prender posto fra i migliori motori idraulici ».

Malgrado tutti gli enumerati vantaggi, è a biasimarsi nelle turbine la grande complicazione del meccanismo e la difficoltà della loro costruzione, ciò che le rende dispendiose, e se a questo si aggiunge la spesa necessarla pel loro impianto si deduce la ragione perchè si prova una certa esitazione nello adottarle.

Tuttavia le turbine divengono sempre più diffuse, e quantunque si sono modificate per diminuire il loro costo, pure uon sono arrivate ancora a quel grado di semplicità, che potrà desiderarsi. Siamo certi però che, nel secolo in cui viviamo famoso per le invenzloni meccaniche, non si tarderà a semplificare totalmente la costruzione di questi importanti motori idraulici, da renderli attuabili con poca spesa. E così si raggiungerà lo scopo, a cui mira la modarna società cioè, ricavar molto utile col minimo dispendio.

Digitized by Google

150

Digitized by Google

# TESI LIBERE

## IDRAULICA

Variazione della pressione in un fluido perfetto per punti successivi il cui luogo geometrico taglia normalmente le trajettorie. Conseguenze che ne derivano.

## COSTRUZIONE

Difesa e riparazione degli argini.

## TOPOGRAFIA

Allineamento dei lunghi rettifili stradali, e dei trafori.

Digitized by Google

152

Digitized by Google

Digitized by Google

154

Digitized by Google

Digitized by Google